



Snötaxering med georadar

– Bättre vårflödesprognoser med HBV-modellen?

**Johan Andréasson, Anders Gyllander, Barbro Johansson,
Josef Källgården, Sten Lindell, Judith Olofsson
Angela Lundberg**

Snötaxering med georadar

– Bättre vårflödesprognoser med HBV-modellen?

**Johan Andréasson, Anders Gyllander, Barbro Johansson,
Josef Källgården, Sten Lindell, Judith Olofsson
Angela Lundberg**

FÖRORD

Denna studie har genomförts av Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut i samarbete med Angela Lundberg på Avdelningen för vattenteknik, Luleå tekniska universitet. Uppdragsgivare till projektet var Elforsk/HUVA. Data har gjorts tillgängliga för oss av Johan Andersson på Vattenregleringsföretagen och Per Wikström på Radarteam Sweden AB. Under projektets gång har vi också haft värdefulla diskussioner med Per Wikström och Peter Calla på Vattenregleringsföretagen.

SAMMANFATTNING

Denna studie hade som målsättning att undersöka möjligheten att med hjälp av georadarmätningar korrigera HBV-modellens snömagasin och därigenom öka tillförlitligheten för vårflödesprognoserna.

Två angreppssätt har testats för att korrigera HBV-modellens snömagasin mot snötaxeringsdata. Dels gjordes försök att finna representativa flyglinjer som, via linjär regression mot HBV-modellens uppdaterade snömagasin, kunde representera områdets verkliga snömagasin. Dels genomfördes försök att utifrån flyglinjerna och geografiska variabler interpolera fram ett arealmedelvärde för snömagasinet i prognosområdena.

Resultaten från den förstnämnda metoden visar att den extra informationen kan vara av värde i områden där HBV-modellen uppvisar systematiska fel. Georadardata kan därför användas för att upptäcka och korrigera för homogenitetsbrott i klimatdata. I områden där HBV-modellens fel tycks slumpmässiga verkar däremot inte georadardata förbättra prognoserna. Försöken med ett interpolerat snömagasin gav inte resultat som ansågs tillräckligt bra för att kunna användas för uppdatering av HBV-modellen.

I de flesta områden är HBV-modellens volymfel över vårfloden små ($< 10\%$) vilket ställer höga krav på mätningarnas kvalitet för att de ska kunna användas för att ytterligare förbättra prognoserna. Svårigheterna att förbättra HBV-modellens vårflödesprognoser kan dels ha varit beroende på att HBV-modellens struktur inte är anpassad till att utnyttja denna typ av indata och dels på att kvalitén på mätningarna inte var tillräcklig i förhållande till HBV-modellens precision. Snöns spatiala densitetsvariationer, snöns våthet och koordinatbestämningen av mätpunkterna har identifierats som kritiska för noggrannheten på det beräknade snömagasinet storlek. I rapporten har rekommendationer givits för hur dessa problem skulle kunna behandlas.

1. INLEDNING.....	1
2. BAKGRUND	2
2.1 HBV-MODELLEN	2
2.2 GEORADARMÄTNINGAR - TEORI.....	2
2.2.1 Omvandling av georadarmätningar till snövattenekvivalent.....	2
2.2.2 Mellanårliga densitetsvariationer	4
2.2.3 Densitet och snödjup.....	5
2.2.4 Densitet och vindutsatthet (terrängformation)	5
2.3 DATA.....	6
2.3.1 Flygmätningar	6
2.3.2 Densitet och vatteninnehåll	6
2.3.2 Linjers representativitet.....	8
3. RESULTAT	11
3.1 REPRESENTATIVA LINJER.....	11
3.1.1 Regressionssamband.....	11
3.1.2 Områdets verkliga snötäcke	11
3.1.3 Beräkning av linjernas SVE.....	12
3.1.4 Resultat av uppdatering.....	12
3.2 AREELLT SNÖTÄCKE	14
3.2.1 Regressionssamband.....	14
3.2.2 Jämförelser med HBV-modellen.....	17
4. SLUTSATSER.....	19
5. REFERENSER.....	21

BILAGOR: Bilaga 1 – Flyglinjer i avrinningsområdena

1. INLEDNING

I HBV-modellen modelleras snömagasinet utgående från punktmätningar av temperatur och nederbörd (Lindström et al., 1996). Speciellt i fjällområden är det svårt att i alla lägen beskriva variationerna i temperatur och nederbörd korrekt. Gradienterna är stora och det meteorologiska stationsnätet är relativt glest. Dessutom ligger stationerna oftast i dalgångar, och representerar inte temperatur och nederbörd i högre terräng. Vissa av de fel som uppstår är systematiska, t.ex. att man systematiskt överskattar/underskattar nederbörden i hög terräng när den extrapoleras från stationerna. Dessa fel kan man komma till rätta med vid kalibreringen genom anpassning av modellparametrarna. Dock är långt ifrån alla fel systematiska, snöfördelningen varierar mellan år och mellan nederbördstillfällen. Vid temperaturer nära 0°C kan också snönederbörd i modellen feltolkas som regn och vice versa. Att få ytterligare information om snömagasinets storlek är därför något man länge eftersträvat.

Sedan 1996 har Vattenregleringsföretagen genomfört snötaxeringar med flygburen radar i Umeälvens, Ångermanälvens, Indalsälvens, Ljungans och Ljusnans avrinningsområden (se t.ex. Wikström, 1998). De linjer man flugit längs har en total sträckning om ca 80 mil. Flygningarna har genomförts under senvintern när snötäcket beräknats vara maximalt. I denna rapport redovisas ett projekt som syftar till att undersöka om dessa snötaxeringar kan utnyttjas för att korrigera HBV-modellens snötäcke och därigenom förbättra vårflödesprognoserna.

Två huvudsakliga angreppssätt för att utnyttja den extra informationen som kan erhållas från snötaxeringarna har testats. I början av 90-talet genomfördes en studie för att utnyttja snötaxeringar i övre delarna av Luleälven i HBV-modellen (Brandt, 1991, Brandt och Bergström, 1994). Den studien ledde inte fram till en operationell användning av sådan information i HBV-modellen, trots positiva resultat i de fjälldominerade områdena. Det angreppssätt som användes var att försöka finna en faktor som anger relationen mellan snömagasinet längs en eller flera flyglinjer och det snötäcke i HBV-modellen som ger den bästa uppskattningen av vårflödesvolymen. HBV-modellens snömagasin kan då jämföras med snötäcket längs de representativa linjerna och korrigeras med hjälp av den funna faktorn. Detta angreppssätt är det enklaste och kan användas med nuvarande HBV-version utan krav på omkalibrering. Vi har därför valt att testa det även i det här projektet. Det är överlägset i sin enkelhet och med tillgång till fler och längre tidsserier förbättras möjligheten till stabila samband.

Det andra angreppssättet som har testats är att utifrån flyglinjerna och geografiska variabler interpolera fram ett arealmedelvärde för snömagasinet i varje område. Arealmedelvärdet är då direkt jämförbart med HBV-modellens simulerade snömagasin. Detta angreppssätt är mindre känsligt för mellanårliga variationer i snöfördelningen än metoden med representativa linjer, eftersom relationen mellan representativa linjer och ett visst avrinningsområde kan variera beroende på snöfördelningen det aktuella året.

2. BAKGRUND

2.1 HBV-MODELLEN

Trots osäkerheter och brister i indata simulerar HBV-modellen avrinningen väl med små volymfel över längre perioder i de områden där den är kalibrerad. Normalt är volymfelet över vårfloden mindre än 10% och ofta betydligt lägre (se tabell 1). Det är med detta som utgångspunkt som resultaten ska förbättras, vilket uppenbarligen ställer stora krav på de nya data som skall användas. För att felet ska kunna minskas bör alltså snömätningarna inte ha ett fel som är större än det HBV-modellen uppvisar utan användande av extra indata, dvs. mindre än 10%.

Tabell 1. Genomsnittligt volymfel över vårflödena (1/4 - 31/7) 1996-2000.
Vs = medelvärdet av volymfelen för enskilda år.
Absdif = medelvärdet av absolutvolymfelen för enskilda år.

		Vs (%)	Absdif (%)
Ångermanälven	Ransaren	0.7	2.5
	Kultsjön (exkl. Ransaren)	8.1	10.8
	Kultsjön (inkl Ransaren)	5.5	7.4
	Blåsjön	9.8	10.8
	Jormsjön	-9.7	9.7
	Vektaren	0.7	7.0
	Limingen (exkl. Vektaren)	0.2	9.5
	Limingen (inkl Vektaren)	0.6	4.5
Indalsälven	Torrön	1.6	6.1
	Anjan	0.5	7.1
	Kallsjön (exkl. Anjan/Torrön)	-6.9	6.9
	Kallsjön (inkl Anjan/Torrön)	-1.6	6.2
	Liten	-0.6	6.4
	Häckren	2.1	5.4
Umeälven	Överuman	-0.1	7.7
	Ajaure	0.3	3.3

2.2 GEORADARMÄTNINGAR - TEORI

2.2.1 Omvandling av georadarmätningar till snövattenekvivalent

Snötäckets vattenekvivalent *SVE* för ett avrinningsområde kan bestämmas med impulsradar (ground penetrating radar)(Ulriksen, 1982).

Punktuppskattningarna av snöns vattenekvivalent *SVE* (m) med impulsradar bestäms med hjälp av den så kallade tvåvägstiden *tw* (ns). Tvåvägstiden är den tid det tar för en radarvåg att gå från snöytan till markytan och tillbaka.

SVE beräknas ur *twt* och en variabel *a* enligt:

$$SVE = a \cdot twt \quad (m) \quad (1)$$

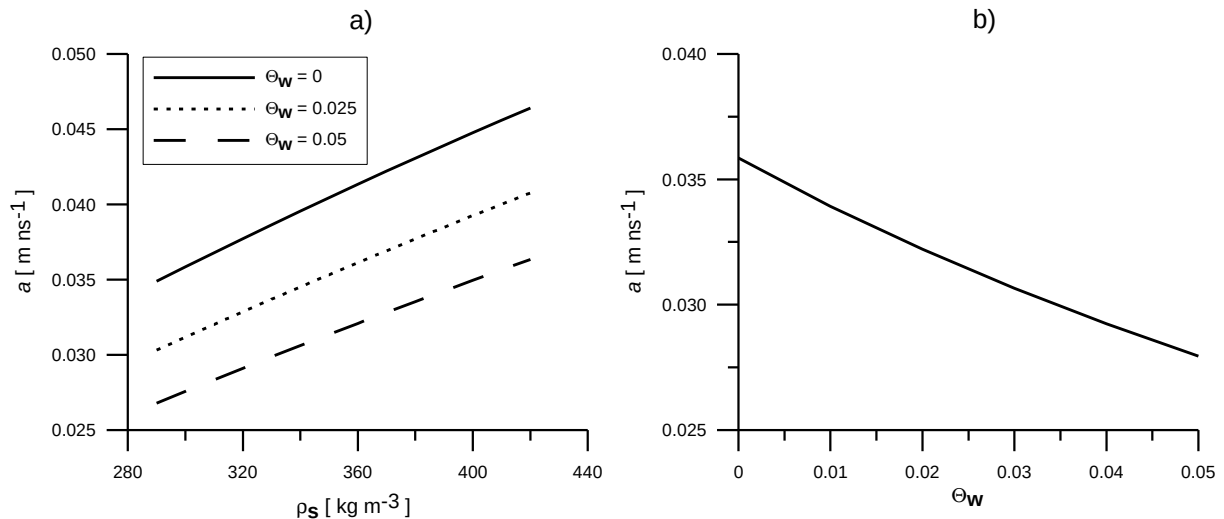
Effekten av variationer i snöns densitet har vanligtvis betraktats som liten när radarmätningar från slutet av ackumuleringsperioden, med snödensitet mellan 250 och 500 kg/m³, har använts för att uppskatta *SVE*. Variabeln *a* är i många mätningar betraktad som en konstant och värdet $a = 0.04 \text{ (m ns}^{-1}\text{)}$ är ett vanligt använt värde. Antagandet att effekten av snödensiteten skulle vara försumbar är dock alltför förenklad. Detta kan ses i variationerna i *a*-värdet från olika studier, exempel på intervall från två studier ges nedan.

$$0.0033 < a < 0.050 \text{ m ns}^{-1} \quad \text{Ulriksen (1982)}$$

$$0.0020 < a < 0.050 \text{ m ns}^{-1} \quad \text{Brandt (1991)}$$

Värdet på *a* är alltså inte en konstant utan en funktion av snöns densitet ρ_s och eventuella våthet Θ_w (Lundberg et al. 2000, Lundberg och Thunehed 2000). Om hänsyn tas till både snöns densitet och snöns våthet kan uttrycket för *SVE* skrivas på formen

$$SVE = \frac{r_s \cdot 1.5 \cdot 10^{-4}}{1 + 0.000851 \cdot r_s + 7.529 \cdot \Theta_w} \cdot twt = a \cdot twt \quad (m) \quad (2)$$



Figur 1. Diagram a) visar *a* som funktion av snödensiteten för olika våthet hos snön enligt ekvation 2. Diagram b) visar hur *a* minskar med ökad våthet för en konstant densitet ($\rho_s = 300 \text{ kg m}^{-3}$).

Figur 1 a) visar tydligt att *a*-värdet ökar med ökad densitet. Användningen av $a = 0.04$ innebär att man indirekt antar att snöns densitet är 345 kg m⁻³ för torr snö. Om snöns densitet i själva verket är tex. 10% lägre (311 kg m⁻³) har man då enligt ekvation 2 överskattat *SVE* med $\approx 9\%$.

Effekten av ökad våthet kan ses som en parallellförflyttning av linjen nedåt, dvs. ökad våthet innebär att a -värdet minskar. Denna minskning visas för ett fast värde på snödensiteten i figur 1 b). En våthet på 5% innebär att a minskar med drygt 20%, dvs. SVE underskattas med lika mycket. Även Ulriksen (1982) konstaterade att flytande vatten påverkar kvalitén hos georadarmätningar negativt.

Därför bör om möjligt snöradarmätningar begränsas till perioder när det inte finns något flytande vatten i snön, eftersom redan små värden på Θ_w påverkar a -värdet och därigenom SVE. Om mätningar trots allt utförs när det finns flytande vatten i snön bör a -värdet justeras för effekten av det flytande vattnet.

Variationer i snöns densitet kan inte negligeras och för en torr snö varierar a med ρ_s (kg m^{-3}) enligt

$$a = \frac{1.5 \cdot 10^{-4} \cdot r_s}{1 + 0.000851 \cdot r_s} \quad (\text{m ns}^{-1}) \quad (3)$$

De densitetsmätningar som gjorts i de undersökta områdena har varit glesa och därför har medelvärden på densiteten används vid transformeringen av radargångtider till SVE. Det innebär i praktiken att densiteten antas vara konstant över stora områden, dvs. att det inte finns några systematiska variationer och att småskaliga variationer är slumpmässiga. För att rättfärdiga antagandet om konstant densitet bör man analysera hur densiteten varierar.

2.2.2 Mellanårliga densitetsvariationer

Få studier har publicerats om hur densiteten vid maximalt snödjup varierar från år till år. Från Schweiz finns ett exempel på mycket stor variation mellan olika år (WMO 1992). Där rapporteras en studie på nivån 2540 m ö h där man mätte ρ_s till 290 (kg m^{-3}) för år 1949 medan motsvarande värde för 1975 var 490 (kg m^{-3}). I flackare områden verkar densitetsvariationerna mellan olika år vara mindre. En studie från nordöstra delen av dåvarande Sovjetunionen (Vershina and Volchenko, 1979) visar att densiteten på öppen mark under en 23 års period som mest varierade mellan 260 och 320 (kg m^{-3}). Den största variationen som uppmäts i samband med snötaxeringarna för denna studien är mellan 229 (kg m^{-3}) 1999 och 375 (kg m^{-3}) 1998 i Ramundberget (tabell 2). Det finns opublicerade data från mätningar av snödensitet under vårarna från Tarfala forskningsstation (personlig kommunikation P. Holmlund, 2001). Dessa data har inte analyserats med avseende på densitetsvariationer och har därför inte kunnat utnyttjas i projektet, men de skulle kunna bidra till bättre kunskaper i framtiden.

Om snöns HBV-modellerade våthet studeras för Indalsälven ser man att den var betydande 1998 men liten 1999 (tabell 3). En förklaring till den stora skillnaden mellan åren skulle därför kunna vara att snön var mer kompakterad på grund av smältning 1998. De mellanårliga densitetsvariationerna är generellt större i de södra mätpunkterna än de som ligger längre norrut.

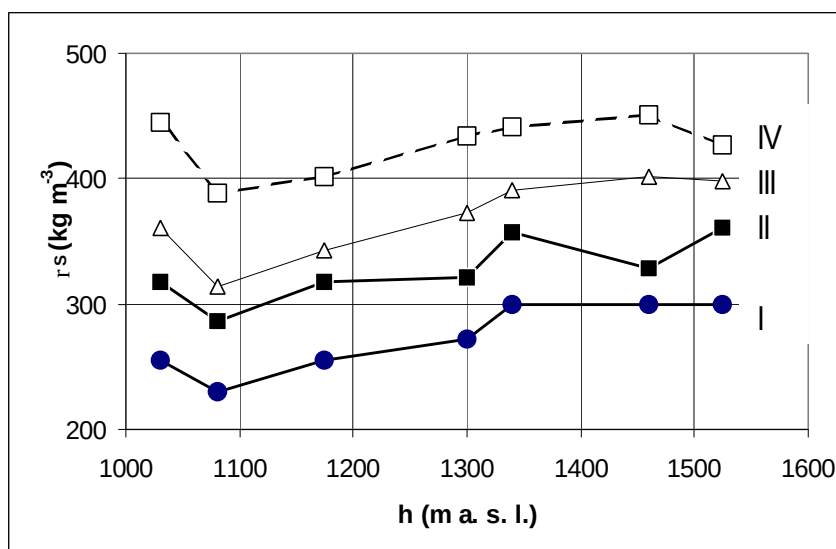
2.2.3 Densitet och snödjup

Samband mellan snödjup och ρ_s har presenterats av t ex Pomeroy and Gray, (1995). De visar på ett mycket svagt positivt samband ($r^2 = 0,008$) mellan ökande snödjup och ökande densitet för tunna snötäcken ($d < 60$ cm) som ej har varit utsatta för upprepad smältning. Sambandet är något starkare för större snödjup ($d > 60$ cm; $r^2 = 0,19$).

2.2.4 Densitet och vindutsatthet (terrängformation)

Få undersökningar tycks ha gjorts beträffande densitetens variation med snöns läge i terrängen. Det är rimligt att anta att densiteten blir högre ju mer vindpåverkad snön är. Gray et al. (1970) rapporterar t ex en sexfaldig ökning av snödensiteten från 45 till 250 (kg m^{-3}) under ett dygns snöstorm på den kanadensiska prärien. Detta borde innebära att snö har högre densitet på bergs- och fjälltoppar än på fjällsidorna och att den vindskyddade snön i dalgångarna bör ha lägst densitet.

WMO, (1992) redovisar en schweizisk studie där densiteten relateras till höjden över havet (figur 2). För höjder mellan 1080 och 1340 m.ö.h. ökar densiteten med höjden, medan densiteten förefaller tämligen konstant för högre höjder. Mönstret är tämligen likartat för månaderna januari till april.



Figur 2. Snödensitet ρ_s som funktion av höjden h över havet (figur efter WMO, 1992). Romerska siffror betecknar månadsnummer.

Den schweiziska studien ger att densiteten ökar med ca 25 kg per 100 m höjdhöjning för höjder mellan 1080 och 1340 m. Även om vindutsattheten generellt ökar med höjden är sambandet mellan densitet och terrängformation antagligen betydligt mer komplicerat. Det kan finnas fjällpass där vinden koncentreras i dalgångar och snön bör vara hårdare packad på vindsidan än på läsidan av ett fjäll. Kunskaperna om densitetsvariationernas terrängberoende är idag inte tillräckliga för att korrekt kunna beskriva dessa.

2.3 DATA

2.3.1 Flygmätningar

Flyglinjerna för de aktuella områdena finns inritade på kartorna i bilaga 1. Som framgår av figurerna tycks sträckningen inte vara exakt densamma från år till år. Delvis kan detta förklaras av att precisionen i positionsbestämningen vissa år varit så låg att felaktig position angetts. De verkliga skillnaderna mellan åren är mindre än vad som framgår av kartorna (personlig kommunikation, P. Calla, P. Wikström). Oavsett orsaken är detta en osäkerhetsfaktor vid användande av data. En annan osäkerhetsfaktor är att flygningarna genomförs under 4-5 på varandra följande dagar. Under en sådan period kan förhållandena ändras, exempelvis föll det betydande mängder nederbörd under mätperioden 1996 (över 40 mm i delar av Ångermanälven). I Indalsälven går en stor andel av flyglinjerna över skog, vilket också ökar osäkerheterna i mätningarna. I denna studie har vi inte haft tillgång till exakt flygdag för varje linje, så vi har gjort alla jämförelser för en dag mitt i mätperioden.

2.3.2 Densitet och vatteninnehåll

I samband med snötaxeringarna har densiteten mätts i max 9 punkter varje år (tabell 2 och figur 3). I de beräkningar som redovisas längre fram har medelvärden beräknats för varje år. Området har därvid delats in i två delar - en nordlig som omfattar Umeälven och Ångermanälven, och en sydlig som omfattar Indalsälven, Ljungan och Ljusnan. Det är stor spridning i mätningarna, och indelningen i en nordlig och en sydlig del motiveras främst av 1998 då det tycks finnas tydliga regionala skillnader.

Tabell 2. Uppmätta densiteter i samband med snötaxering (kg/m³).

	1996	1997	1998	1999	2000
Flatruet	279	331	404	304	
Ramundberget	323	299	375	229	320
Fjällnäs	286	274	345	293	
Korsvattnet, damm	293	355	419	331	332
Korsvattnet, stugan	336	308	403	323	
Medel södra mätpunkterna	303	313	389	296	326
Tängvattnet	306	359	326		292
Mjölkbäcken	292	304	298	243	292
Blåsjön		330	327	306	315
Saxnäs		288	264	263	278
Medel norra mätpunkterna	299	320	304	271	294



Figur 3. Karta över provtagningsplatser för snödensitet.

Värdet på a påverkas även av snöns våthet. Enligt avsnitt 2.2.1 reduceras a med 20 % om snön innehåller 5 % vatten i flytande form. Det finns inga mätningar på snöns våthet i samband med snötaxeringarna, men simuleringar med HBV-modellen tyder på att detta kan vara ett problem i de sydligare områdena. Tabell 3 visar snöns simulerade innehåll av flytande vatten i Ångermanälven, Umeälven och Indalsälvens avrinningsområden i samband med flygningarna.

Tabell 3. Snötäckets innehåll av vatten i flytande form simulerat med HBV-modellen. wc anges i procent av totalt snömagasin

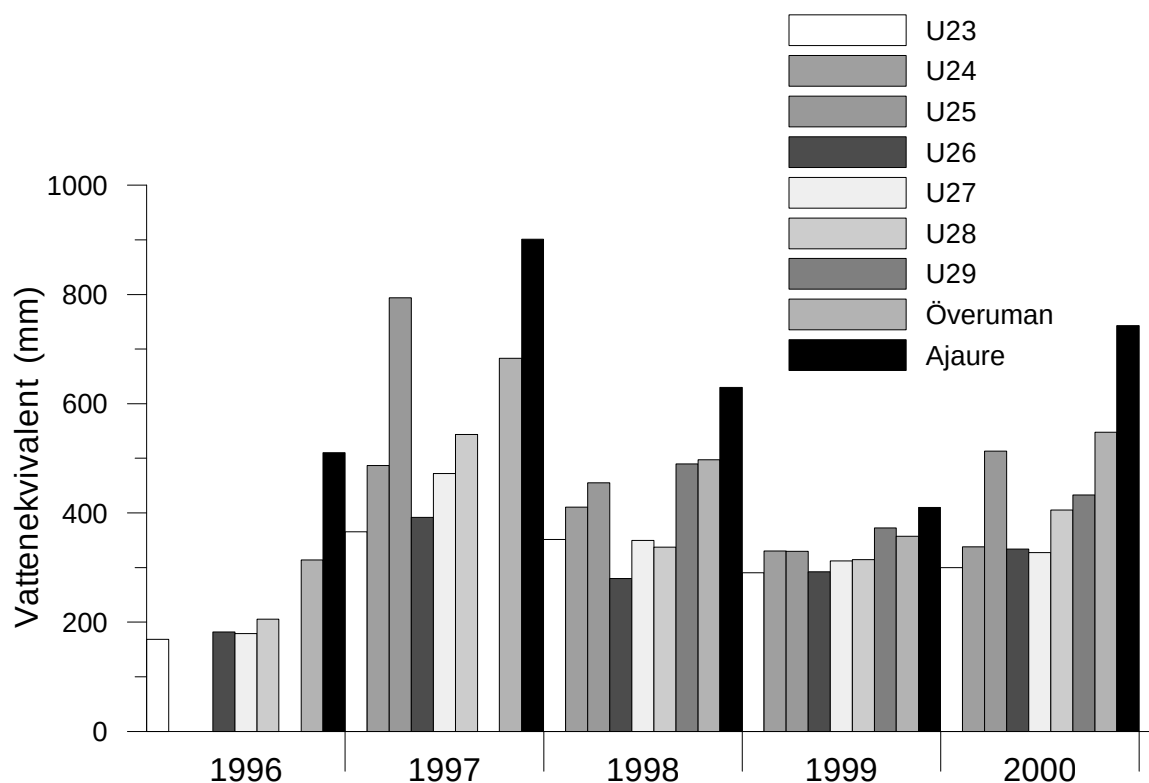
		wc (%)				
		1996	1997	1998	1999	2000
Ångermanälven	Ransaren	3.8	0.7	1.8	0.2	0
	Kultsjön (exkl. Ransaren)	0.8	0.4	1.0	0.2	0.4
	Blåsjön	1.1	2.3	3.5	1.1	1.6
	Jormsjön	1.8	4.5	5.0	1.4	4.7
	Vektaren	0.5	1.6	3.2	0.8	1.0
Umeälven	Överuman	2.9	1.1	2.6	0	1.6
	Ajaure	3.4	1.9	3.5	0	3.1
Indalsälven	Torrön	3.7	5.0	5.7	1.4	2.4
	Anjan	5.4	4.5	6.6	2.2	1.9
	Kallsjön (exklusive Anjan och Torrön)	5.7	4.3	6.6	3.0	4.1
	Öster-Noren	5.4	3.2	6.4	2.9	1.9
	Ottsjön	4.1	2.5	4.2	1.6	1.6

2.3.2 Linjers representativitet

Relationen mellan olika linjer varierar kraftigt mellan åren (tabell 4), vilket stämmer överens med förväntade skillnader i snöfördelning. Generellt sett ger västliga linjer en bättre bild av de mellanårliga variationerna än mer östliga linjer. Snötäcket i de östliga delarna skiljer sig betydligt mindre mellan åren (figur 4), och osäkerheter i mätningarna slår därför igenom mer. De flesta avrinningsområden sträcker sig in i de västliga delarna och har stora mellanårliga variationer.

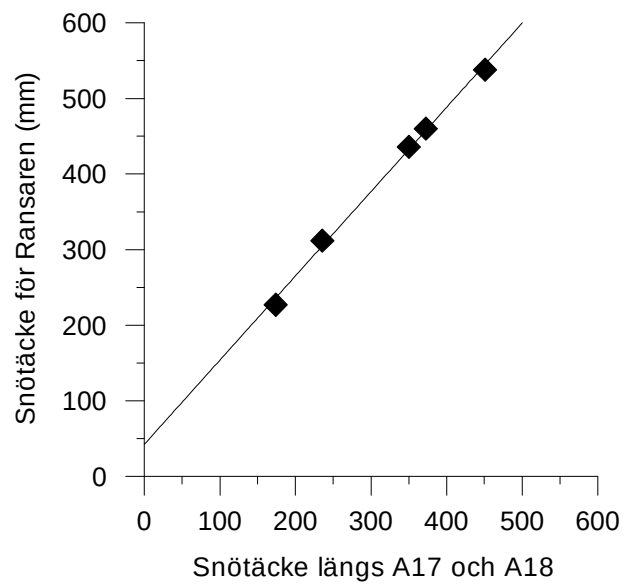
Tabell 4. Exempel på kvoter mellan snötäckets vattenvärde längs olika linjer och olika år

Linjer	Kvot 1996	Kvot 1997	Kvot 1998	Kvot 1999	Kvot 2000	medel- kvot	standard- avvikelse	stdavv i % av medel	avstånd mellan linjers medelpunkt (km)
u23/u24	-	0.75	0.84	0.87	0.87	0.83	0.06	7	30.4
u23/u25	-	0.48	0.77	0.89	0.58	0.68	0.19	27	60.7
u23/u26	0.92	0.94	1.22	1.00	0.87	0.99	0.14	14	43.3
u23/u27	0.95	0.79	0.99	0.93	0.89	0.91	0.08	8	39.0
u23/u28	0.82	0.69	1.05	0.94	0.71	0.84	0.15	18	61.4
u23/u29	-	-	0.72	0.79	0.68	0.73	0.06	8	41.9
u23/u30	-	-	-	1.03	0.66	0.84	0.26	31	78.5
a17/a18	0.97	0.93	0.99	1.26	1.03	1.03	0.13	13	14.2
a17/a19	1.16	-	1.04	0.99	1.20	1.10	0.10	9	23.8
a17/f14	0.76	0.71	0.62	0.74	0.61	0.69	0.07	10	58.5
a17/f15	0.94	0.92	0.90	0.93	0.86	0.91	0.03	3	43.8
a17/fj16	0.85	0.80	0.79	0.98	0.82	0.85	0.08	9	16.3
a17/fj20	1.29	1.17	1.02	1.03	1.15	1.13	0.11	10	34.1
a17/fj21	0.91	0.96	0.93	0.93	1.06	0.96	0.06	6	35.8



Figur 4. Medelvärde av snötäckets vattenvärde längs flyglinjerna i Umeälvens avrinningsområde, samt beräknat vattenvärde för Överuman och Ajaure.

Trots de ovan redovisade osäkerhetsfaktorerna visar sig snötaxeringarna längs vissa linjer ge en god bild av snömagasinet i det aktuella området. Figur 5 visar ett exempel från Ransarens avrinningsområde, där modellerat snötäcke plottats mot medelvärdet av linjerna A17 och A18 (se Bilaga 1 för linjernas läge). I Ransaren är volymfelet över vårfloden mycket lågt under samtliga år 1996-2000 (tabell 1), så det är rimligt att anta att det modellerade snötäcket väl representerar det verkliga. Som en oberoende mätning av snömagasinet är det därför uppenbart att snötaxeringarna har ett värde.



Figur 5. Modellerat snötäcke för Ransaren vid tiden för snötaxeringar 1996-2000, plottat mot medel-snötäcket längs linjerna A17 och A18.

3. RESULTAT

3.1 REPRESENTATIVA LINJER

3.1.1 Regressionssamband

Denna metod går ut på att en eller flera linjer är representativa för ett delområdes totala snötäcke. Linjernas uppmätta *SVE* behöver nödvändigtvis inte vara exakt det rätta, men förhållandet mellan linjernas *SVE* och delområdets *SVE* bör vara lika över tiden. Det är inte heller nödvändigt att förhållandet mellan linjernas *SVE* och områdets verkliga *SVE* går genom origo. Korrelationsanalys mellan enskilda linjer samt medel av flera linjer och korrigerat modellsnötäcke har gjorts för att finna de linjer som bäst verkar beskriva områdets *SVE*. Korrelationsanalysen gjordes för samtliga år 1996-2000. De linjer som gav bäst överensstämmelse användes sedan för att göra en enkel regressionsanpassning. För att kunna utvärdera regressionssambanden gjordes en löpande regression där det året som utvärderades inte ingick, dvs. regressionssambandet för 1997-2000 utvärderades för 1996 osv. För varje område och år erhöles alltså regressionsuttryck på formen

$$SVE_{område} = k_1 + k_2 \cdot SVE_{linje} \quad (m) \quad (4)$$

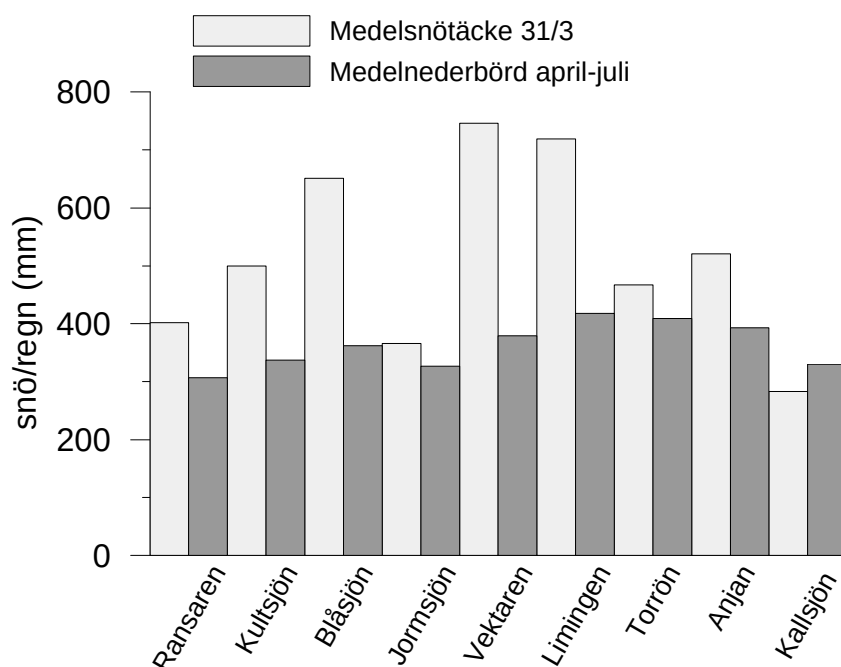
Med hjälp av regressionsuttrycken beräknades ett årligt snötäcke, som sedan användes för att uppdatera HBV-modellens snötäcke, för aktuell dag respektive år, inför vårflödesprognoserna. Som mått på förbättringen/försämringen av uppdateringen användes volymfelet över vårfloden.

Korrelationskoefficienterna mellan *SVE* längs de mest representativa linjerna och korrigerat modellberäknat snömagasin för avrinningsområden var mycket höga i Ångermanälven och Umeälven ($r > 0.9$, figur 5). I Indalsälven låg de mellan 0.8 och 0.9.

3.1.2 Områdets verkliga snötäcke

Ovan beskrivna metod bygger på att det finns ett snötäcke som kan betecknas vara det ”rätta” snötäcket. Hur ska då detta snötäcke definieras? En indikation på ett välbestämt snötäcke är ett litet volymfel i simulerad avrinning över vårfloden. Traditionellt har man därför ansatt ett modellsnötäcke som ger volymfelet 0 över perioden april – juli. Det går dock att uppdatera HBV-modellen så att volymfelet över vårfloden blir 0 på olika sätt. Det mest direkta sättet är att helt enkelt ändra snötäcket för just den dagen som flygmätningar finns tillgängliga (jfr. Brandt, 1991, Hills et al., 1996). Denna teknik har dock en svaghet. Flygmätningarna genomförs ofta i månadsskiftet mars – april och nederbörden under april – juli är betydande i förhållande till det snötäcke som då ligger (figur 6). Det volymfel som finns den 31/7 kan åtminstone delvis vara orsakat av fel i indata under och efter snösmältningen. Fel i snötäcket i slutet av mars kan också kompenseras av fel i motsatt riktning under april till juli. Om däremot volymfelet över vårfloden under ett antal år i genomsnitt är nära 0, då kan vi förmodligen anta att snömagasinet i genomsnitt är väl modellerat – det överskattas vissa år och underskattas andra. Ett regressionssamband mellan modellerat snötäcke och representativa linjer lägger sig per definition i mitten och skulle kunna ge ett snötäcke som ligger nära det bästa möjliga. För att testa denna teori användes en nederbördskorrektion

(P_{corr}) för att erhålla ett totalt volymfel nära 0 över vårflödena 1996-2000. I Umeälven testades också att använda olika nederbördskorrektion för varje år så att volymfelet över vårfloden för varje enskilt år blev 0. Tanken bakom detta var att det på detta sätt skulle kunna vara möjligt att korrigera även för fel som inträffar under och efter snösmältningen, samtidigt som kompensation mellan olika års volymfel elimineras.



Figur 6. Modellberäknat snötäcke 31/3 samt nederbörd april – juli. Medelvärden 1996-2000.

3.1.3 Beräkning av linjernas SVE

Utgående från medelgångtiden (t_{wt}) för varje linje och den uppmätta medeldensiteten för det aktuella området beräknades SVE enligt ekvation (1) och (3). Försök gjordes även att ta hänsyn till effekterna från snöns våthet. Eftersom inga mätningar på snöns våthet fanns tillgängliga användes HBV-modellens simulerade våthet (w_c) som en uppskattning. Korrektionerna gjordes på två sätt. För Indalsälven och Ångermanälven användes en justeringsfaktor som innebar att konverteringsfaktorn a reducerades med upp till 20%. Reduktionen var 0 vid helt torr snö och ökade sedan linjärt upp till dess att det flytande vatteninnehållet var 5%. För Umeälven användes istället ekvation (2) för att ta hänsyn till snöns flytande vatteninnehåll. I praktiken är metoderna likvärdiga. Korrektionerna för snöns vattenvärde ledde till en avsevärd förbättring av sambanden mellan linjernas SVE och modellberäknat snömagasin i Indalsälven. I Ångermanälven och Umeälven påverkades sambanden negativt eller inte alls. Orsaken till att en förbättring erhöles i Indalsälven, men inte i Ångermanälven och Umeälven är troligtvis att det i Indalsälven var en betydligt större andel flytande vatten i snön.

3.1.4 Resultat av uppdatering

För Ångermanälven ledde användningen av georadardata till en minskning av felet i simulerad avrinning för ett flertal områden. För Indalsälven och Umeälven var resultaten mer negativa vad gäller nyttan av extra information från georadardata (tabell 5 och 6).

Tabell 5. Volymfel i simulerad avrinning över vårfloden (1/4 - 31/7). Första kolumnen avser simulering utan korrektion av snötäcke, andra kolumnen avser simulering där snötäcket korrigerats med hjälp av georadardata.

		Volymfel över vårfloden, okorr/korr (%)									
		1996		1997		1998		1999		2000	
Ånger-	Ransaren	-0.2	9.0	-1.2	1.4	-2.1	-2.6	3.3	-1.0	4.6	3.8
manälven	Kultsjön (exkl Ransaren)	-11	-10	9.8	0.1	10	-1.1	10	2.6	13	-2.5
	Kultsjön (inkl Ransaren)	-7.2	-3.6	5.9	0.6	6.1	-1.6	7.9	1.4	10	-0.3
	Blåsjön	-3.3	-4.9	17	14	13	4.0	6.4	-1.1	9.6	3.5
	Jormsjön	-21	-20	-7.1	-0.5	-9.5	-8.3	-10	-4.0	-3.5	2.9
	Vektaren	5.1	-8.2	2.9	4.4	0.0	-3.0	12	21	-15	-15
	Limingen (exkl Vektaren)	-20	-32	13	10	4.6	-0.1	-1.2	3.8	15	15
	Limingen (inkl Vektaren)	-8.0	-21	7.3	7.0	2.1	-1.7	5.5	12	3.2	-3.3
Indals-	Torrön	-5.0	-9.5	-2.8	-4.5	15	14	-0.2	4.8	-4.9	-2.5
älven	Anjan	-1.6	5.3	-11	-12	16	16	-1.0	-6.7	3.0	3.0
	Kallsjön (exkl Anjan/Torrön)	-14	-9.7	-13	-6.4	0.4	0.4	-6.2	-14	-3.8	-9.7
	Kallsjön (inkl Anjan/Torrön)	-7.2	-7.0	-7.3	-6.3	10	9.8	-2.2	-2.7	-3.3	-3.7
Umeälven	Överuman (uppdat hela per)	-16	-16	1.8	1.8	-2.4	-1.1	18	18	-4.1	-4.7
	Ajaure (uppdat hela per)	-3.6	-13	3.6	-10	-2.1	-10	-2.9	5.9	4.0	-8.7

Tabell 6. Volymfel i simulerad avrinning över vårfloden (1/4 - 31/7). Första kolumnen avser simulering utan korrektion av snötäcke, andra kolumnen avser simulering där snötäcket korrigerats med hjälp av georadardata. Uppdatering har gjorts med olika nederbördskorrektion för varje år.

		volymfel över vårfloden, okorr/korr (%)									
		1996		1997		1998		1999		2000	
Umeälven	Överuman (uppdat varje år)	-16	-27	1.8	3.0	-2.4	-4.9	18	37	-4.1	-8.3
	Ajaure (uppdat varje år)	-3.6	-5.5	3.6	8.6	-2.1	-7.7	-2.9	5.9	4.0	2.0

För hela perioden 1996-2000 överskattade HBV-modellen ursprungligen systematiskt avrinningen i Kultsjön och Blåsjön, medan den underskattades i Jormsjön. Detta korrigerades innan regressionssambanden lades fast. För dessa områden innebar användningen av georadardata en tydlig förbättring av simuleringarna 1997-2000. Under samma år påverkades simuleringarna i Ransaren endast i liten utsträckning av georadardata, men det var också ett område med små volymfel i den ursprungliga simuleringen. Resultaten för 1996 var mer negativa, men det kan möjligen förklaras av att det föll avsevärda mängder nederbörd under mätperioden det året. I Vektaren och Limingen var volymfelen stora vissa år men med växlande tecken (se skillnaden mellan 'vs' och 'absdif' i tabell 1). Den extra snöinformationen borde därför kunnat förbättra simuleringarna, men resulterade snarare i en försämring.

Simuleringarna i Ångermanälven tyder på att georadardata inte förbättrar prognoserna för områden där det inte finns några systematiska fel i modellberäkningarna. Däremot kan de i vissa områden vara av värde vid homogenitetsbrott i klimatdata, något som det finns risker för i tider med mycket förändringar i stationsnätet.

I Umeälven påverkades resultaten för Överuman knappast alls av användningen av georadardata, medan resultaten försämrades betydligt för Ajaure. Av tabell 5 framgår att för Ajaure avvek 1999 betydligt från övriga år. Då ledde uppdateringen av snötäcket till en ökning av modellberäknad vårfloädesvolym. Övriga år fick man istället en minskning. Genom att utesluta 1999 skulle resultaten för övriga år förbättras, men det finns ingen information som skulle motivera detta. Det visar dock att enstaka år kan slå igenom i regressionssambanden eftersom de tillgängliga mätserierna är korta. Testerna med olika nederbördskorrektioner för olika år vid bestämningen av "rätt" snömagasin gav sämre resultat än en generell nederbördskorrektion 1996-2000 (tabell 6).

I Indalsälven är det ett antal år där resultaten försämras med georadardata. I tabell 5 redovisas endast resultat för områden uppströms Kallsjön. Simuleringar har även gjorts för Öster-Noren och Ottsjön, med sämre resultat än för Kallsjön. Flera flyglinjer i Indalsälven går över skog och detta i kombination med att det i Indalsälven finns risk att snön innehåller nämnvärda mängder flytande vatten i mars, gör troligen georadardata mindre tillförlitliga.

3.2 AREELLT SNÖTÄCKE

3.2.1 Regressionssamband

Denna metod syftar till att utifrån samtliga flyglinjer interpolera fram ett arealvärde för snömagasinet i varje område. Detta arealvärde skulle då vara direkt jämförbart med HBV-modellens simulerade snömagasin.

Snöns vattenvärde längs flyglinjerna finns redovisat som medelvärden för varje kilometer. Dessa värden kopplades samman med Lantmäteriverkets höjddatabas, och för varje kilometer bestämdes medelhöjd och lutning i öst/västlig respektive nord/sydlig riktning. Därmed kunde snöns vattenekvivalent uttryckas som en linjär funktion av geografiska parametrar (x- och y-koordinat, höjd, lutning). I tabell 7 visas hur stor del av snötäckets varians som förklaras av dessa samband. I de flesta fall är det mindre än 50 %. Då vi är ute efter ett arealmedelvärde trodde vi ändå det var möjligt att sambanden var användbara eftersom slumpmässiga variationer jämnas ut. Då linjernas exakta koordinater måste anses vara osäkra är det troligtvis inte rättfärdigat att ta med lutningsriktning i regressionssambanden. Då regressionssambanden med och utan lutningsriktning som tillåten variabel jämförs (tabell 7-8) ser man också att denna variabel inte förbättrar sambanden särskilt mycket. För tester i HBV-modellen har därför regressionssamband baserade på endast x-, y-koordinat och höjd använts.

Tabell 7. Förklarad varians (r^2) för regressionssamband mellan geografiska variabler (x-,y-koordinat, höjd och lutning) och snötäcke längs flyglinjer.

	1996	1997	1998	1999	2000	1996-2000	Medel
Umeälven	0.17	0.58	0.48	0.23	0.43	0.34	0.37
Ångermanälven	0.28	0.05	0.14	0.39	0.22	0.13	0.20
Fjällsjöälven	0.56	0.49	0.48		0.24	0.41	0.44
Faxälven	0.70	0.43	0.38	0.32	0.41	0.35	0.43
Indalsälven	0.31	0.36	0.24	0.18	0.29	0.16	0.26
Ljungan	0.35	0.35	0.52	0.20	0.37	0.32	0.35
Ljusnan	0.73	0.46	0.50	0.31	0.40	0.49	0.48
Ång.,Fjäll., Fax	0.33	0.17	0.26	0.09	0.17	0.11	0.19
Ljung., Ljus	0.49	0.31	0.49	0.23	0.31	0.34	0.36
medel	0.43	0.36	0.39	0.24	0.32	0.29	0.34

Tabell 8. Förklarad varians (r^2) för regressionssamband mellan geografiska variabler (x-,y-koordinat och höjd) och snötäcke längs flyglinjer.

	1996	1997	1998	1999	2000	1996-2000	Medel
Umeälven	0.17	0.49	0.41	0.18	0.40	0.30	0.32
Ångermanälven	0.28	0.05	0.11	0.39	0.22	0.13	0.20
Fjällsjöälven	0.51	0.49	0.48		0.24	0.39	0.42
Faxälven	0.68	0.43	0.12	0.32	0.38	0.35	0.38
Indalsälven	0.28	0.29	0.19	0.18	0.09	0.12	0.19
Ljungan	0.35	0.35	0.47	0.20	0.28	0.31	0.33
Ljusnan	0.73	0.46	0.50	0.31	0.40	0.49	0.48
Ång.,Fjäll., Fax	0.30	0.17	0.24	0.09	0.17	0.11	0.18
Ljung., Ljus	0.49	0.31	0.46	0.23	0.33	0.33	0.36
medel	0.42	0.34	0.33	0.24	0.28	0.28	0.31

För tester i HBV-modellen valde vi att utnyttja Umeälven samt ett gemensamt samband för Ångermanälven, och inte behandla Faxälven och Fjällsjöälven separat. I de använda regressionssambanden har endast x- och y-koordinat samt höjd använts. Regressionssambanden för respektive år redovisas i tabell 9-10 (se också figur 8).

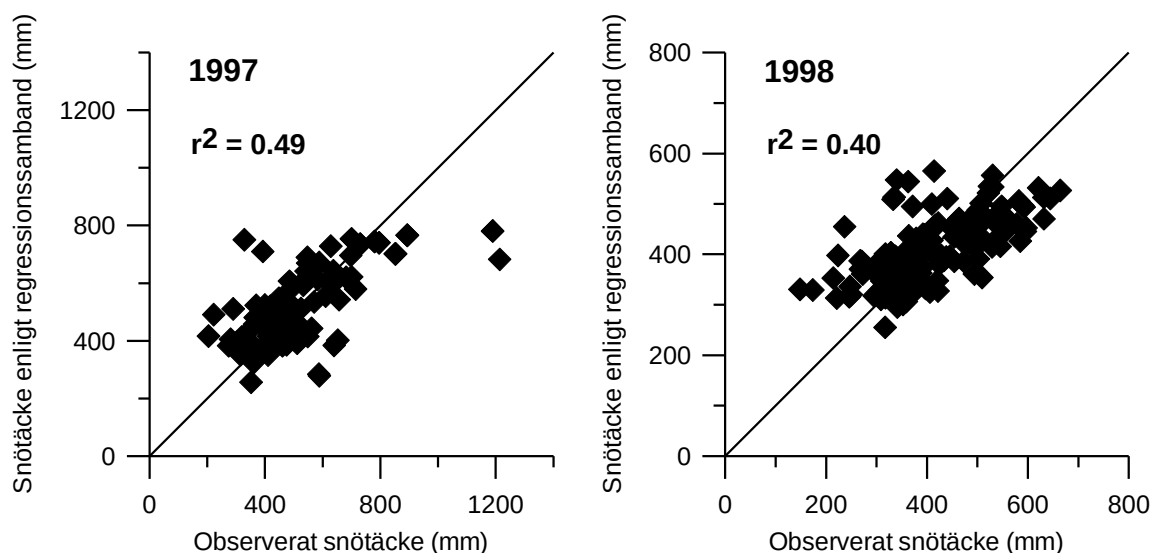
Tabell 9. Regressionssamband för Ångermanälven. SVE är snöns vattenekvivalent, x och y koordinater i RT90 (sju siffror) och h höjden i meter över havet. Samtliga variabler som ingår har en signifikansnivå på minst 1%

Regressionssamband	År
$SVE = 2106 - 0.001370 * x + 0.0703 * h$	1996
$SVE = 5457 - 0.003610 * x + 0.3130 * h$	1997
$SVE = 10993 - 0.002490 * x - 0.000998 * y + 0.2840 * h$	1998
$SVE = 12295 - 0.000661 * x - 0.00156 * y + 0.2180 * h$	1999
$SVE = 13114 - 0.003570 * x - 0.00108 * y + 0.2560 * h$	2000

Tabell 10. Regressionssamband för Umeälven. Samma beteckningar som i tabell 9 har använts

Regressionssamband	År
$SVE = -4499 + 0.000641 * y$	1996
$SVE = -18733 - 0.002563 * x + 0.003094 * y + 0.6348 * h$	1997
$SVE = 2735 - 0.001736 * x + 0.3027 * h$	1998
$SVE = 147 + 0.2237 * h$	1999
$SVE = -9916 - 0.001126 * x + 0.001606 * y + 0.3206 * h$	2000

Skillnaden i nederbördsfördelning mellan åren speglas av sambanden. Exempelvis var vintern 1995-96 nederbördsfattig med ovanligt mycket ostvindar, medan vintern 1996-97 var nederbördsrik. Vi ser att skillnaderna mellan områdets västra och östra delar är större 1997 än 1996 för både Ångermanälven och Umeälven. Även höjdberoendet är större, troligen på grund av mer nederbörd vid kraftiga västvindar.



Figur 8. Exempel på regressionssamband mellan snötäcke längs linjer och geografiska variabler i Umeälven (x- och y-koordinat samt höjd över havet).

3.2.2 Jämförelser med HBV-modellen

Utifrån regressionssambanden beräknades snömagasinet för prognosområdena i Ångermanälven och Umeälven. Vid jämförelser med HBV-modellens snömagasin visade det sig att regressionssambanden inte i tillräcklig utsträckning speglade den stora nederbördsgradienten i öst-västlig riktning. Framför allt underskattades snömagasinet i Vektaren och Limingen (tabell 11). Generellt var det beräknade snötäcket från regressionssambanden lägre än det simulerade med HBV-modellen. Två tänkbara förklaringar kan finnas till detta. Antingen är det så att snötäcket från georadarmätningarna alltid presenterar lägre värden än de som erhålls från HBV-modellen t ex på grund av att omvandlingsfaktorn a har ett för lågt värde, eller beroende på att georadarmätningar inte är direkt jämförbara med HBV-modellen. Den andra orsaken skulle kunna vara att flyglinjerna är så placerade att de överrepresenterar vissa av områdets geografiska egenskaper, exempelvis om för stor andel ligger längs en viss sluttningsriktning, i en viss terrängtyp, på för låg höjd eller för långt österut och att de framtagna regressionssambanden på grund av detta inte klarar av att korrekt beskriva områdets rätta snötäcke. Som nämndes tidigare ökar också snöns densitet med höjden. Detta har inte tagits hänsyn till vid beräkningen av *SVE*, vilket skulle kunna göra att de högre belägna områdena får en lägre beräknad *SVE* än vad de borde ha. För de tre områdena i Umeälven, som ligger längst österut och har lägst medelhöjd, Solberg, Göuta och Göuta-Ajaure, finns en god överensstämmelse mellan regressionsberäknat och HBV-modellerat snötäcke. Detta tyder snarare på att regressionssambanden misslyckas med att beskriva gradienten i öst-västlig riktning och höjdgradienten än att radarmätningarna alltid skulle generera lägre värden på det beräknade snötäcket.

De stora skillnaderna mellan områdenas *SVE* beräknat från georadarmätningar respektive HBV-modellen gjorde att det inte ansågs meningsfullt att gå vidare och testa en uppdatering av HBV-modellen.

Tabell 11. Snömagasin för Ångermanälven och Umeälven vid snötaxering, beräknat utifrån regressionssamband samt simulerat med HBV-modellen. Det simulerade snömagasinet är korrigerat så att volymfelet över vårfloden är 0. Umeälvens prognosområden är skuggade i tabellen.

	Område	1996		1997		1998		1999		2000		Medel- kvot reg/sim
		reg	sim	reg	sim	reg	sim	Reg	sim	reg	sim	
Ångerman- Älven	Ransaren	180	214	490	538	412	460	234	312	344	436	0.84
	Kultsjön	161	208	436	531	389	496	244	371	311	474	0.74
	Blåsjön	202	312	534	745	470	702	280	444	433	675	0.66
	Jormsjön	200	206	509	470	464	480	287	298	441	459	0.99
	Vektaren	232	459	601	931	506	878	274	524	499	837	0.57
	Limingen	233	407	594	701	506	852	277	482	510	803	0.64
Umeälven	Överuman	200	497	707	863	442	652	324	454	465	725	0.65
	Tängvattnet	185	469	609	839	432	684	307	433	414	665	0.62
	Ahasjön	188	405	699	776	462	528	346	408	461	619	0.77
	Nedre Jovattnet	176	347	533	675	417	599	300	364	375	547	0.70
	Laisan	180	312	552	641	407	482	315	361	388	519	0.78
	Tärnasjön	200	432	654	771	403	594	328	420	443	611	0.70
	Solberg	183	217	524	526	377	398	314	345	376	394	0.93
	Göuta	172	166	426	457	357	363	297	276	326	430	0.96
	Göuta-Ajaure	164	142	355	386	341	328	289	245	290	354	1.02
	Ajaure tot*	184	327	565	655	401	511	315	369	395	528	0.76

* Ajaure tot. består av Tängvattnet, Ahasjön, Nedre Jovattnet, Laisan, Tärnasjön, Solberg, Göuta och Göuta-Ajaure.

4. Slutsatser

Resultaten visar att det är svårt att generellt förbättra vårflödesprognoserna med hjälp av information från georadarmätningar. Det skulle kunna bero på att HBV-modellens struktur inte är anpassad till att utnyttja denna typ av indata, men kan också förklaras av otillräcklig precision i mätningarna. I de allra flesta fall är volymfelen i modellberäknad avrinning små, vilket ställer stora krav på noggrannhet när nya datatyper skall inkorporeras.

Resultaten från försöken med representativa linjer, dvs. att finna ett samband mellan beräknat snötäcke längs representativa linjer och avrinningsområdenas totala snötäcke, visar på blandade resultat. Främst tycks georadarmätningar vara användbara för att upptäcka och korrigera för homogenitetsbrott i klimatdata. I områden utan homogenitetsbrott har det inte gått att påvisa en ökad noggrannhet i modellberäknad avrinning. I flera områden försämrades tvärtom noggrannheten. Data måste därför användas med urskiljning.

De mest västliga flyglinjerna verkar ge en bättre bild av de mellanårliga variationerna än mer östliga linjer. Det är i väster man har de största nederbördsmängderna och de största skillnaderna mellan olika år. Nederbördsgradienterna längs huvudvattendelaren mot Norge är stora, och det är möjligt att resultaten för områden som Vektaren och Limingen skulle kunna förbättras om det gick att flyga även på den norska sidan av gränsen.

Försöken att finna ett samband mellan geografiska variabler och *SVE* måste anses vara misslyckade, vilket kan ha flera orsaker. Stora osäkerheter finns i linjernas koordinater (Bilaga 1). Linjernas sträckning tycks variera avsevärt mellan åren. Det kan antingen förklaras av att den aktuella linjesträckningen skiljer sig, eller också av att koordinaterna är felaktiga för vissa år. Om koordinaterna är felaktiga innebär det att de geografiska variabler som relateras till linjerna inte överensstämmer med de verkliga. När dessa variabler sedan används för att finna samband för variationen i *SVE* införs fel i regressionssambanden. En annan orsak till att försöken misslyckades kan vara att linjerna inte tillräckligt speglar variationen i *SVE* över avrinningsområdena. Exempelvis om för stor andel av linjerna ligger längs en viss sluttningsriktning, terrängtyp, på för låg höjd eller snedfördelade i öst-västlig riktning. Också att inte densitetsvariationerna beaktas i särskilt stor utsträckning är en stor osäkerhet.

För att tillförlitligt omvandla georadarmätningar till aktuellt snömagasin krävs att snön är torr och att densiteten är känd. I denna undersökning har densiteten antagits vara konstant över stora områden. Detta antagande bygger på två förutsättningar:

1. Det finns inga systematiska storskaliga variationer i densiteten (exempelvis klimatberoende) och de småskaliga variationerna är slumpmässiga.
2. De mätningar som bestämmer det genomsnittliga densitetsvärdet är av god kvalitet och av tillräckligt antal för att spegla de slumpmässiga variationerna.

Internationella studier har visat att det finns ett samband mellan terrängförhållanden och densitet, ett samband som framförallt förklaras av skillnader i vindutsatthet. De studier som finns räcker dock inte för att generellt kvantifiera dessa samband. Med nuvarande täthet på

mätningarna är det också svårt att ytterligare ta hänsyn till snödensitetens variation varför ett regionalt medelvärde varit det enda möjliga alternativet i denna undersökning.

Eftersom det skulle vara svårt och inte minst dyrt att göra tillräckligt många manuella densitetsmätningar för att korrekt kunna beskriva densitetsvariationen vore det mycket värdefullt om snödensiteten kunde mätas samtidigt med flygradarmätningarna. Om radartekniken vidareutvecklas skulle det vara möjligt att från radiovågens amplitud och en referensamplitud från is direkt kunna bestämma snödensiteten (personlig kommunikation, P. Wikström, 2000). Med en sådan metod behöver man inte använda sig av statistiska samband mellan ρ_s och terrängen utan får direkta mätningar av ρ_s och därmed ett korrekt värde på *SVE* oberoende av variationer i ρ_s .

Tidpunkten för flygmätningarna är också kritisk för kvalitén på radarmätningarna. Lundberg och Thunehed (2000) visar att snöns våthet påverkar omvandlingsfaktorn mellan *tw* och *SVE* avsevärt. I denna studien visas också att snöns våthet påverkar resultaten i Indalsälven. Det lättaste sättet att undvika kvalitetsproblem i mätningarna är att helt enkelt försöka utföra flygmätningarna innan fritt vatten i snön blir ett problem. De mätningar som hittills utförts verkar vara något för sena i framförallt de södra områdena. Detta är givetvis en svår balansgång mellan att utföra mätningarna så sent som möjligt för att försöka fånga det maximala snötäcket och att undvika fritt vatten i snön.

5. REFERENSER

Brandt, M., 1991, Snömätning med georadar och snötaxeringar i Övre Luleälven. Försök med uppdatering av vårflödesprognoserna.. SMHI Hydrologi, Nr 33.

Brandt, M. och Bergström, S., 1994, Integration of Field Data into Operational Snowmelt-Runoff Models. *Nordic Hydrology*, Vol. 25, pp. 101-102.

Gray, D.M., Norum, D.I. and Dyck, G.E., 1970, Densities of prairie snowpacks. In Proceedings from the 38:th annual meeting of the western snow conference, pp. 24-30.

Hills, R., McManamon, A., and Hartman, R.K., 1996, Snow Estimation and Updating System (SEUS). In Proceedings, Third International Conference/Workshop on integrating GIS and Environmental Modelling, Santa Fe, NM, January 21-26, 1996. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis.

Lindström, G., Gardelin, M., Johansson, B., Persson, M., och Bergström, S., 1996, HBV-96 – En areellt fördelad modell för vattenkrafthydrologin, SMHI RH nr 12, Norrköping.

Lundberg, A., and Thunehed, H., 2000, Snow wetness influence on impulse radar snow surveys – theoretical and laboratory study, *Nordic Hydrology*, Vol. 31(2), 89-106

Lundberg, A., Thunehed, H., and Bergström, J., 2000, Impulse Radar Snow Surveys – Influence of Snow Density, *Nordic Hydrology*, Vol. 31(1), 1-14

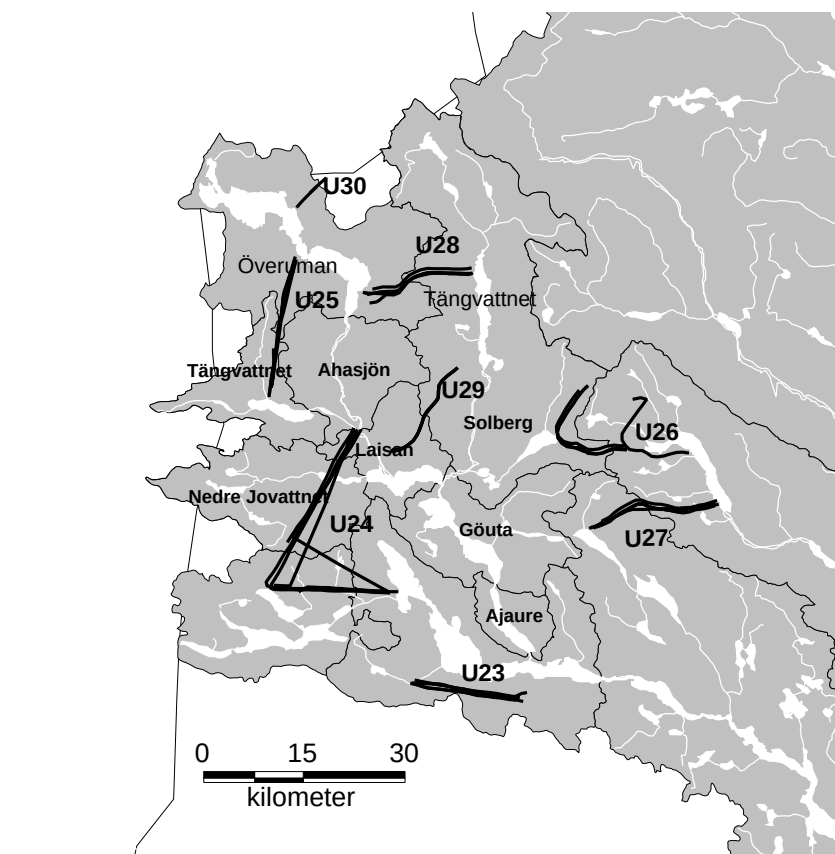
Pomeroy, J.W. and Gray, D.M., 1995, Snow cover: accumulation , relocation and management. National Hydrology Research Institute (NHRI) Report. Saskatoon, Canada. 144 pp.

Ulriksen, P., 1982, Application of Impulse Radar to Civil Engineering, Lund University, Dept. of Engineering Geology, Doctoral thesis.

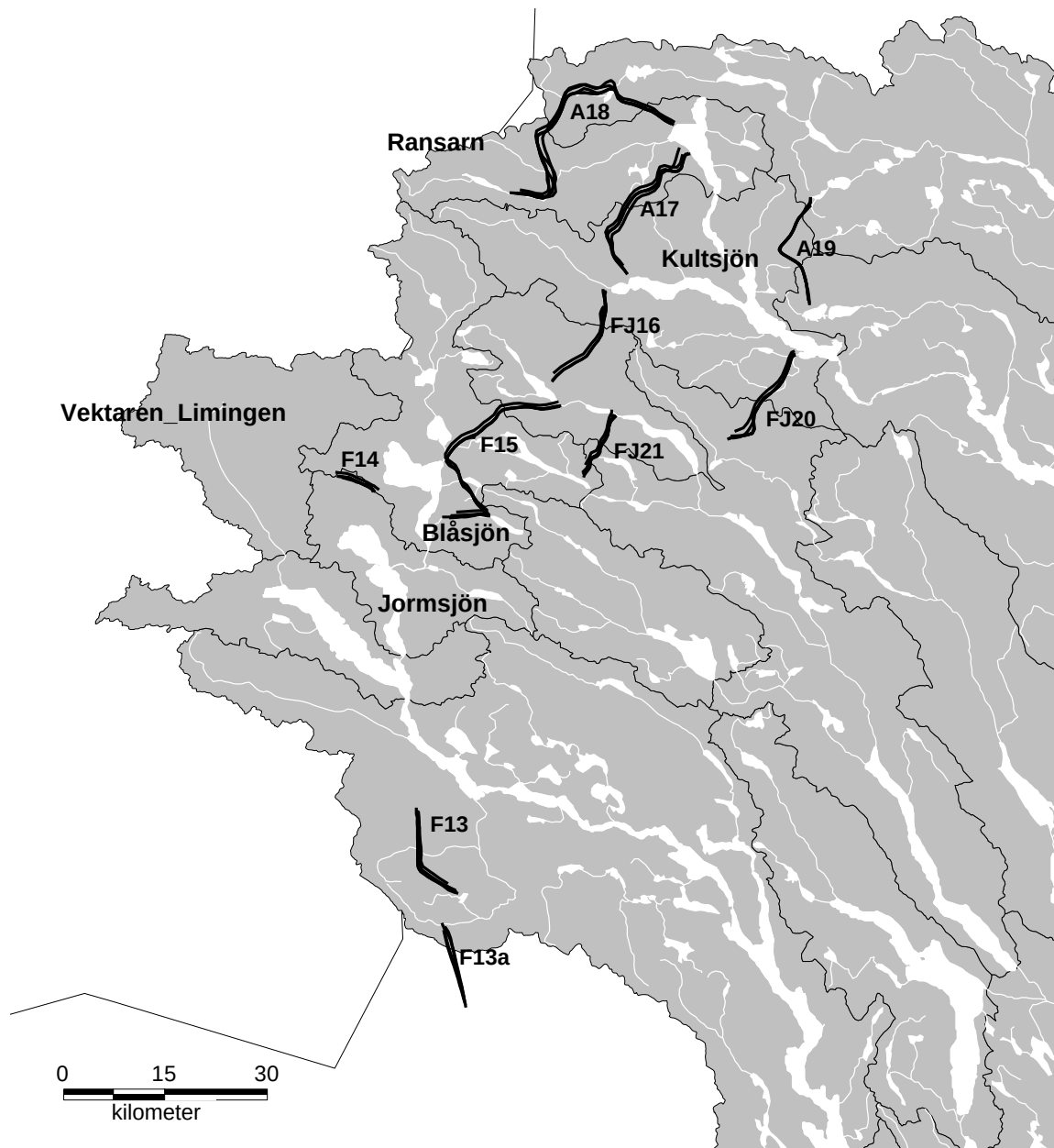
Vershinina, L.K. and Volchenko, V.N., 1979. Distribution of the water equivalents of snow in the north-eastern regions of the European USSR. *Soviet Hydrology*, Selected paper no 18(3), 171-176.

WMO, 1992, Snow cover measurements and areal assessment of precipitation and soil moisture. Sevruk, B. (Ed.) WMO report No. 748.WMO, Geneva, Operational Hydrology Report 35. 283 pp.

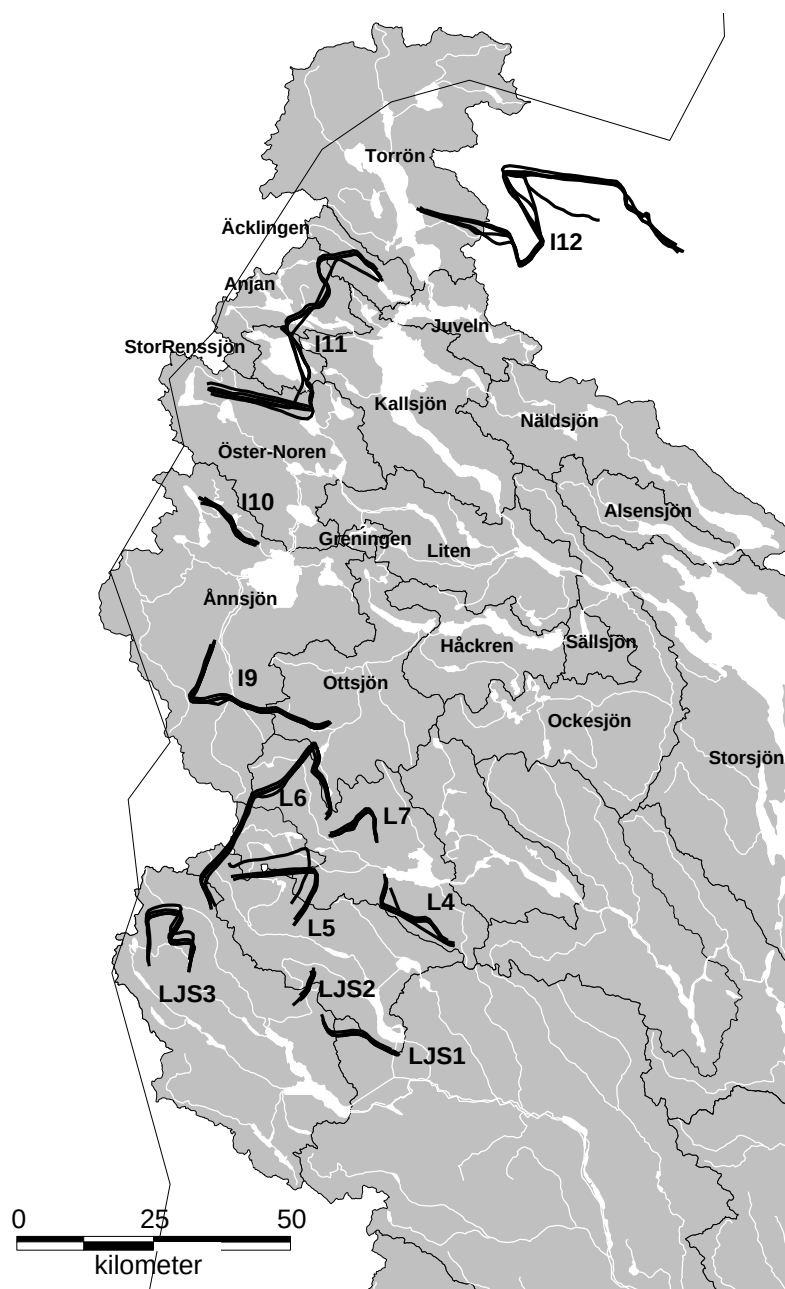
FLYGLINJER I UMEÄLVENS AVRINNINGSSOMRÅDE



FLYGLINJER I ÅNGERMANÄLVENS AVRINNINGSOMRÅDE



FLYGLINJER I INDALSÄLVENS, LJUNGANS OCH LJUSNANS AVRINNINGSOMRÅDEN



SMHI ger ut sex rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Rapport Meteorologi och Klimatologi)	1974
RH (Rapport Hydrologi)	1990
RO (Rapport Oceanografi)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

I serien HYDROLOGI har tidigare utgivits:

- | | |
|--|---|
| <p>1 Bengt Carlsson (1985)
Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena.</p> <p>2 Martin Häggström och Magnus Persson (1986)
Utvärdering av 1985 års vårflödesprognoser.</p> <p>3 Sten Bergström, Ulf Ehlin, SMHI, och Per-Eric Ohlsson, VASO (1986)
Riktlinjer och praxis vid dimensionering av utskov och dammar i USA. Rapport från en studieresa i oktober 1985.</p> <p>4 Barbro Johansson, Erland Bergstrand och Torbjörn Jutman (1986)
Skåneprojektet - Hydrologisk och oceanografisk information för vattenplanering - Ett pilotprojekt.</p> <p>5 Martin Häggström (1986)
Översiktlig sammanställning av den geografiska fördelningen av skador främst på dammar i samband med septemberflödet 1985.</p> <p>6 Barbro Johansson (1986)
Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län - ett försöksprojekt.</p> <p>7 Maja Brandt (1986)
Areella snöstudier.</p> <p>8 Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja Brandt och Göran Lindström (1987)
PULS-modellen: Struktur och tillämpningar.</p> | <p>9 Lennart Funkquist (1987)
Numerisk beräkning av vågor i kraftverksdammar.</p> <p>10 Barbro Johansson, Magnus Persson, Enrique Aranibar and Robert Llobet (1987)
Application of the HBV model to Bolivian basins.</p> <p>11 Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar and Roberto Llobet (1987)
Monthly streamflow simulation in Bolivian basins with a stochastic model.</p> <p>12 Kurt Ehlert, Torbjörn Lindkvist och Todor Milanov (1987)
De svenska huvudvattendragens namn och mynningspunkter.</p> <p>13 Göran Lindström (1987)
Analys av avrinningsserier för uppskattning av effektivt regn.</p> <p>14 Maja Brandt, Sten Bergström, Marie Gardelin och Göran Lindström (1987)
Modellberäkning av extrem effektiv nederbörd.</p> <p>15 Håkan Danielsson och Torbjörn Lindkvist (1987)
Sjökarte- och sjöuppgifter. Register 1987.</p> <p>16 Martin Häggström och Magnus Persson (1987)
Utvärdering av 1986 års vårflödesprognoser.</p> |
|--|---|

- 17 Bertil Eriksson, Barbro Johansson, Katarina Losjö och Haldo Vedin (1987)
Skogsskador - klimat.
- 18 Maja Brandt (1987)
Bestämning av optimalt klimatstationsnät för hydrologiska prognoser.
- 19 Martin Häggström och Magnus Persson (1988)
Utvärdering av 1987 års vårflödesprognoser.
- 20 Todor Milanov (1988)
Frys förluster av vatten.
- 21 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval and Maria Elvira Vega (1988)
Application of the HBV model to the upper Río Cauca basin.
- 22 Mats Moberg och Maja Brandt (1988)
Snökartläggning med satellitdata i Kultsjöns avrinningsområde.
- 23 Martin Gotthardsson och Sten Lindell (1989)
Hydrologiska stationsnät 1989. Svenskt Vattenarkiv.
- 24 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval y Maria Elvira Vega (1989)
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca superior del Río Cauca.
- 25 Gun Zachrisson (1989)
Svåra islossningar i Torneälven. Förslag till skadeförebyggande åtgärder.
- 26 Martin Häggström (1989)
Anpassning av HBV-modellen till Torneälven.
- 27 Martin Häggström and Göran Lindström (1990)
Application of the HBV model for flood forecasting in six Central American rivers.
- 28 Sten Bergström (1990)
Parametervärden för HBV-modellen i Sverige. Erfarenheter från modellkalibreringar under perioden 1975 - 1989.
- 29 Urban Svensson och Ingemar Holmström (1990)
Spridningsstudier i Glan.
- 30 Torbjörn Jutman (1991)
Analys av avrinningens trender i Sverige.
- 31 Mercedes Rodriguez, Barbro Johansson, Göran Lindström, Eduardo Planos y Alfredo Remont (1991)
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca del Río Cauto en Cuba.
- 32 Erik Arnér (1991)
Simulering av vårflöden med HBV-modellen.
- 33 Maja Brandt (1991)
Snömätning med georadar och snötaxeringar i övre Luleälven.
- 34 Bent Göransson, Maja Brandt och Hans Bertil Wittgren (1991)
Markläckage och vattendragstransport av kväve och fosfor i Roxen/Glan-systemet, Östergötland.
- 35 Ulf Ehlin och Per-Eric Ohlsson, VASO (1991)
Utbyggd hydrologisk prognos- och varningstjänst.
Rapport från studieresa i USA
1991-04-22--30.
- 36 Martin Gotthardsson, Pia Rystam och Sven-Erik Westman (1992)
Hydrologiska stationsnät 1992/Hydrological network. Svenskt Vattenarkiv.
- 37 Maja Brandt (1992)
Skogens inverkan på vattenbalansen.
- 38 Joakim Harlin, Göran Lindström, Mikael Sundby (SMHI) och Claes-Olof Brandesten (Vattenfall Hydropower AB) (1992)
Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionering av hel älv.
- 39 Sten Lindell (1993)
Realtidsbestämning av arealnederbörd.
- 40 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Vattenföring i Sverige. Del 1. Vattendrag till Bottenviken.
- 41 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Vattenföring i Sverige. Del 2. Vattendrag till Bottenhavet.

- 42 Svenskt Vattenarkiv (1993)
Vattenföring i Sverige. Del 3. Vattendrag till
Egentliga Östersjön.
- 43 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Vattenföring i Sverige. Del 4. Vattendrag till
Västerhavet.
- 44 Martin Häggström och Jörgen Sahlberg
(1993)
Analys av snösmältningsförlopp.
- 45 Magnus Persson (1993)
Utnyttjande av temperaturrens persistens vid
beräkning av volymsprognoser med HBV-
modellen.
- 46 Göran Lindström, Joakim Harlin och
Judith Olofsson (1993)
Uppföljning av Flödeskommitténs
riktlinjer.
- 47 Bengt Carlsson (1993)
Alkalinitets- och pH-förändringar i Ume-älven
orsakade av minimitappning.
- 48 Håkan Sanner, Joakim Harlin and
Magnus Persson (1994)
Application of the HBV model to the Upper
Indus River for inflow forecasting to the
Tarbela dam.
- 49 Maja Brandt, Torbjörn Jutman och
Hans Alexandersson (1994)
Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärden 1961 -
1990 av nederbörd, avdunstning och
avrinning.
- 50 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Avrinningsområden i Sverige. Del 3.
Vattendrag till Egentliga Östersjön och Öre-
sund.
- 51 Martin Gotthardsson (1994)
Svenskt Vattenarkiv. Översvämningskänsliga
områden i Sverige.
- 52 Åsa Evremar (1994)
Avdunstningens höjdberoende i svenska
fjällområden bestämd ur vattenbalans och med
modellering.
- 53 Magnus Edström och Pia Rystam (1994)
FFO - Stationsnät för fältforsknings-
områden 1994.
- 54 Zhang Xingnan (1994)
A comparative study of the HBV model and
development of an automatic calibration
scheme.
- 55 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Svenskt dammregister - Södra Sverige.
- 56 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Svenskt dammregister - Norra Sverige.
- 57 Martin Häggström (1994)
Snökartering i svenska fjällområdet med
NOAA-satellitbilder.
- 58 Hans Bertil Wittgren (1995)
Kvävetransport till Slätbaken från Söder-
köpingsåns avrinningsområde
- 59 Ola Pettersson (1995)
Vattenbalans för fältforskningsområden.
- 60 Barbro Johansson, Katarina Losjö, Nils
Sjödin, Remigio Chikwanha and Joseph
Merka (1995)
Assessment of surface water resources in the
Manyame catchment - Zimbabwe.
- 61 Behzad Koucheiki (1995)
Älvtemperaturers variationer i Sverige under
en tioårsperiod.
- 62 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Sänkta och torrlagda sjöar.
- 63 Malin Kanth (1995)
Hydrokemi i fältforskningsområden.
- 64 Mikael Sundby, Rikard Lidén , Nils Sjödin,
Helmer Rodriguez, Enrique Aranibar (1995)
Hydrometeorological Monitoring and
Modelling for Water Resources Develop-ment
and Hydropower Optimisation in Bolivia.
- 65 Maja Brandt, Kurt Ehlert (1996)
Avrinningen från Sverige till omgivande hav.
- 66 Sten Lindell, Håkan Sanner, Irena
Nikolushkina, Inita Stikute (1996)
Application of the integrated hydrological
modelling system IHMS-HBV to pilot basin
in Latvia

- 67 Sten Lindell, Bengt Carlsson, Håkan Sanner, Alvina Reihan, Rimma Vedom (1996)
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Estonia
- 68 Sara Larsson, Rikard Lidén (1996)
Stationstäthet och hydrologiska prognoser.
- 69 Maja Brandt (1996)
Sedimenttransport i svenska vattendrag exempel från 1967-1994.
- 70 Svenskt Vattenarkiv (1996)
Avrinningsområden i Sverige. Del 4. Vattendrag till Västerhavet.
- 71 Svenskt Vattenarkiv (1996)
Svenskt sjöregister. 2 delar
- 72 Sten Lindell, Lars O Ericsson, Håkan Sanner, Karin Göransson SMHI
Malgorzata Mierkiewicz , Andrzej Kadlubowski, IMGW (1997)
Integrated Hydrological Monitoring and Forecasting System for the Vistula River Basin. Final report.
- 73 Maja Brandt, Gun Grahn (1998)
Avdunstning och avrinningskoefficient i Sverige 1961-1990. Beräkningar med HBV-modellen.
- 74 Anna Eklund (1998)
Vattentemperaturer i sjöar, sommar och vinter - resultat från SMHIs mätningar.
- 75 Barbro Johansson, Magnus Edström, Katarina Losjö och Sten Bergström (1998)
Analys och beräkning av snösmältningsförlopp.
- 76 Anna Eklund (1998)
Istjocklek på sjöar.
- 77 Björn Bringfelt (1998)
An evapotranspiration model using SYNOP weather observations in the Penman-Monteith equation
- 78 Svenskt Vattenarkiv (1998)
Avrinningsområden i Sverige. Del 2 Vattendrag till Bottenhavet.
- 79 Maja Brandt, Anna Eklund (1999)
Snöns vatteninnehåll Modellberäkningar och statistik för Sverige
- 80 Bengt Carlsson (1999)
Some facts about the Torne and Kalix River Basins.
A contribution to the NEWBALTIC II workshop in Abisko June 1999.
- 81 Anna Eklund (1999)
Isläggning och islossning i svenska sjöar.
- 82 Svenskt Vattenarkiv (2000)
Avrinningsområden i Sverige. Del 1. Vattendrag till Bottenviken.
- 83 Anna Eklund, Marie Gardelin, Anders Lindroth (2000)
Vinteravdunstning i HBV-modellen - jämförelse med mätdata
- 84 Göran Lindström, Mikael Ottosson Löfvenius (2000)
Tjäle och avrinning i Svartberget – studier med HBV-modellen
- 85 Bengt Carlsson och Göran Lindström (2001)
HBV-modellen och flödesprognoser
- 86 Josef Källgården (2001)
Snow distribution in a mountainous region. A remote sensing study.
- 87 Johan Andréasson, Anders Gyllander, Barbro Johansson, Josef Källgården, Sten Lindell, Judith Olofsson, Angela Lundberg
Snötaxering med georadar - Bättre vårflödesprognoser med HBV-modellen?



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping
Tel 011-495 80 00 · Fax 011-495 80 01